

Калибровка магнитометра НМС5883L

**Бачурин Владимир Владимирович**

Физический факультет. Практикум по электричеству, магнетизму и СВЧ. 3 семестр.

Группа №16305i, 2018.

Научный руководитель:

**С. Е. Краснопевцев**, ведущий инженер лаб. ЭМиСВЧ НГУ

### **Аннотация**

Целью работы являлась разработка программы для реализации алгоритма калибровки трехосного магнитометра НМС5883L по четырем точкам. Работа алгоритма проверена на точках, вручную выбранных из массива данных с магнитометра. Результаты вычисления коэффициентов усиления соответствуют ожиданиям. Разработанную программу предлагается использовать для калибровки трехосных магнитометров.

Ключевые слова: калибровка, магнитометр, магнитные поля.

Работа выполнена в Лаборатории электричества, магнетизма и СВЧ Кафедры общей физики Физического факультета НГУ.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра автоматизации физико-технических исследований

Бачурин Владимир Владимирович  
КУРСОВАЯ РАБОТА

**Калибровка магнитометра НМС5883L**

Практикум по физической оптике, 2 курс, группа №16305i

**Научный руководитель:**

С. Е. Краснопевцев

Оценка научного руководителя

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ декабря \_\_\_\_\_ 2018 г.

**Преподаватель практикума**

к. ф. - м. н., А. А. Симонов

Оценка преподавателя практикума

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ декабря \_\_\_\_\_ 2018 г.

**Куратор практикума:**

д. ф. - м. н., Б. А. Князев

Итоговая оценка

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **Аннотация**

Целью работы являлась разработка программы для реализации алгоритма калибровки трехосного магнитометра HMC5883L по четырем точкам. Работа алгоритма проверена на точках, вручную выбранных из массива данных с магнитометра. Результаты вычисления коэффициентов усиления соответствуют ожиданиям. Разработанную программу предлагается использовать для калибровки трехосных магнитометров.

Ключевые слова: калибровка, магнитометр, магнитные поля.

Работа выполнена в Лаборатории электричества, магнетизма и СВЧ Кафедры общей физики Физического факультета НГУ.

## Оглавление

1. Введение .....	3
2. Характеристики прибора.....	3
3. Эффект Холла .....	4
4. Описание алгоритма .....	5
5. Описание программы.....	7
6. Результаты эксперимента .....	8
7. Выводы.....	9
8. Список литературы .....	9

## **1. Введение**

Целью работы являлась разработка программы для калибровки трехосного магнитометра НМС5883L. Трехосный магнитометр НМС5883L применяется для измерения магнитных полей порядка 8 Гс в физических исследованиях.

Он измеряет относительную величину магнитного поля тремя независимыми датчиками, соответствующими трем осям декартовой системы координат.

Каждый из трех датчиков имеет отличающееся от других усиление и смещенный ноль, вследствие чего перед использованием магнитометра его необходимо подвергнуть калибровке.

При измерении однородного магнитного поля точки, полученные при измерении откалиброванным магнитометром должны ложиться на сферу, а реальный результат - эллипсоид, сдвинутый относительно начала координат. Калибровка сводится к поиску матрицы преобразования этого эллипсоида в сферу.

Алгоритм также подходит для калибровки других трехосных магнитометров, а также для проверки точности калибровки тех, которые поставляются в откалиброванном виде.

## **2. Характеристики прибора**

Магнитометр НМС5883L — это трехосный прибор, основанный на эффекте Холла с цифровым интерфейсом. Среднее потребление тока при проведении измерений — 100 микроампер. Прибор позволяет проводить измерения магнитных полей величиной до 8 Гс с точностью 2 мГс.

Результаты измерений транслируются по цифровой последовательной I<sup>2</sup>C шине с частотой до 160 Гц.

### 3. Эффект Холла

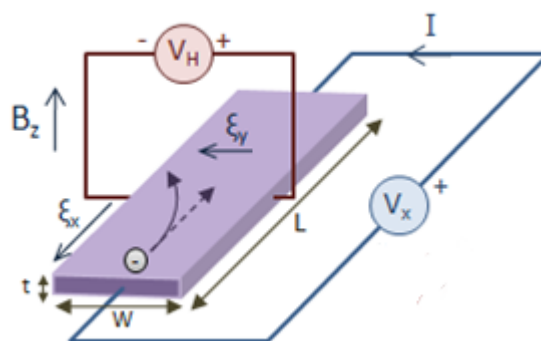


Рис 1. Иллюстрация действия эффекта Холла.

Магнитометр НМС5883L основан на эффекте Холла. Эффект Холла заключается в возникновении разности потенциалов, называемой холловским напряжением, при помещении проводника, по которому протекает постоянный ток, в магнитное поле. Причиной эффекта Холла является сила Лоренца, действующая на движущиеся заряды в проводнике.

Пример действия эффекта Холла показан на рис. 1. Пусть по проводящему параллелепипеду высоты  $t$ , длины  $l$ , ширины  $w$  течет ток  $I$ . Магнитное поле  $B_z$  направлено перпендикулярно грани параллелепипеда с длиной  $l$  и шириной  $w$ . Тогда сила Лоренца, действующая на движущиеся электроны, будет смещать их в направлении одной из граней параллелепипеда до тех пор, пока возникшая таким образом холловская разность потенциалов не скомпенсирует действие силы Лоренца.

$$E_y - v_x B = 0$$

где  $E_y$  - напряжение, возникшее в результате смещения электронов.

Тогда Холловское напряжение

$$V_H = v_x B w = \frac{IB}{nte}$$

где  $n$  — концентрация носителей зарядов.

#### 4. Описание алгоритма

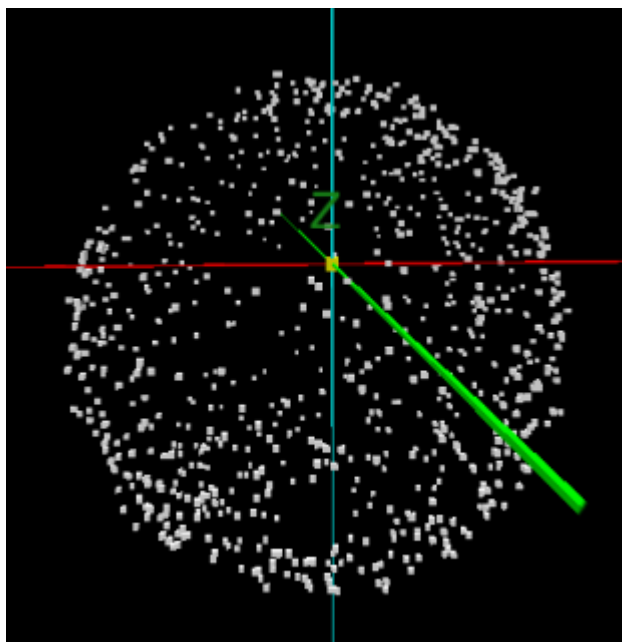


Рис. 2. Полученные с не откалиброванного магнитометра данные

Точки, полученные в результате работы не откалиброванного магнитометра лежат на эллипсоиде, как показано на рис. 2. Целью работы алгоритма является нахождение коэффициентов усиления и смещения для преобразования этого эллипсоида в сферу, пример которой показан на рис. 3.

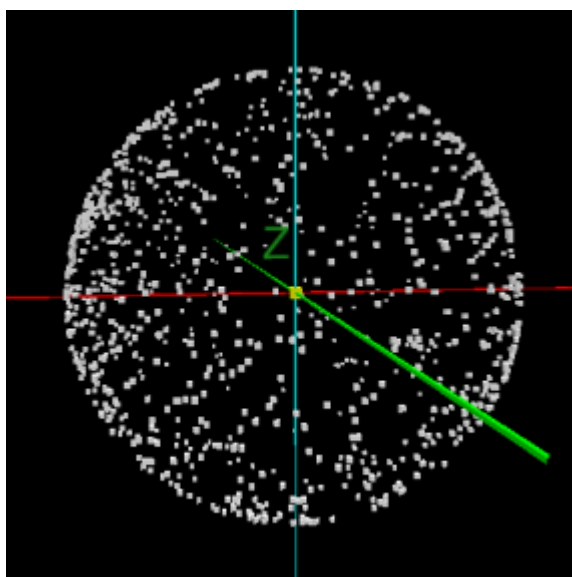


Рис. 3. Данные после калибровки

Для описания эллипса нужны четыре точки. Для повышения точности результатов следует брать четыре точки, расположенные относительно друг друга «удачным» образом, но метод получения четырех хороших точек лежит за пределами данной работы.

На основании четырех точек, координаты которых будем обозначать  $x_1, y_1, z_1$  и так далее, можно составить систему уравнений для поиска коэффициентов матрицы трансформации эллипса в сферу  $(x, y, z) \rightarrow (\alpha(x-x_0), \beta(y-y_0), \gamma(z-z_0))$  учитывая, что калибровка проводится в однородном поле, то есть модуль вектора — константа. Таким образом, получим уравнение

$$\alpha(x_1-x_0)^2 + \beta(y_1-y_0)^2 + \gamma(z_1-z_0)^2 = C$$

Добавив аналогичное уравнение для второй точки и преобразовав систему, получим

$$a = \alpha(x_1^2 - x_2^2) + \beta(y_1^2 - y_2^2) + \gamma(z_1^2 - z_2^2) = \alpha(x_1 - x_2)(x_1 + x_2) + \beta(y_1 - y_2)(y_1 + y_2) + \gamma(z_1 - z_2)(z_1 + z_2)$$

Учтя все начальные точки, получим систему из трех уравнений

$$\begin{pmatrix} 2\alpha(x_1-x_2) & 2\beta(y_1-y_2) & 2\gamma(z_1-z_2) \\ 2\alpha(x_1-x_3) & 2\beta(y_1-y_3) & 2\gamma(z_1-z_3) \\ 2\alpha(x_1-x_4) & 2\beta(y_1-y_4) & 2\gamma(z_1-z_4) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha(x_1^2-x_2^2) + \beta(y_1^2-y_2^2) + \gamma(z_1^2-z_2^2) \\ \alpha(x_1^2-x_3^2) + \beta(y_1^2-y_3^2) + \gamma(z_1^2-z_3^2) \\ \alpha(x_1^2-x_4^2) + \beta(y_1^2-y_4^2) + \gamma(z_1^2-z_4^2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$$

Решая эту систему, получаем  $x_0 = \frac{\Delta}{2\alpha\Delta_x}, y_0 = \frac{\Delta}{2\beta\Delta_y}, z_0 = \frac{\Delta}{2\gamma\Delta_z}$ , где

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_1-x_2 & y_1-y_2 & z_1-z_2 \\ x_1-x_3 & y_1-y_3 & z_1-z_3 \\ x_1-x_4 & y_1-y_4 & z_1-z_4 \end{vmatrix}, \text{ а } \Delta_x, \Delta_y \text{ и } \Delta_z \text{ получаются из нее заменой первого, второго}$$

и третьего столбца соответственно на столбец  $\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$ . Проведя преобразования над

определителями, получим

$$\Delta_x = \alpha \begin{vmatrix} x_1^2-x_2^2 & y_1-y_2 & z_1-z_2 \\ x_1^2-x_3^2 & y_1-y_3 & z_1-z_3 \\ x_1^2-x_4^2 & y_1-y_4 & z_1-z_4 \end{vmatrix} + \beta \begin{vmatrix} y_2(y_1-y_2) & y_1-y_2 & z_1-z_2 \\ y_3(y_1-y_3) & y_1-y_3 & z_1-z_3 \\ y_4(y_1-y_4) & y_1-y_4 & z_1-z_4 \end{vmatrix} + \gamma \begin{vmatrix} z_2(z_1-z_2) & y_1-y_2 & z_1-z_2 \\ z_3(z_1-z_3) & y_1-y_3 & z_1-z_3 \\ z_4(z_1-z_4) & y_1-y_4 & z_1-z_4 \end{vmatrix} = \dot{c}$$



$$\alpha A_1 + \beta B_1 + \gamma C_1$$

Аналогично определяются  $A_2, B_2, C_2$

Магнитометр НМС5883L измеряет относительную величину магнитного поля, то один из коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  можно определить произвольно. Примем коэффициент гамма равным единице. Тогда для вычисления остальных множителей получим систему

$$\begin{pmatrix} x_1^2 - x_2^2 - A_1 & y_1^2 - y_2^2 - B_1 \\ x_1^2 - x_3^2 - A_2 & y_1^2 - y_3^2 - B_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 - (z_1^2 - z_2^2) \\ C_2 - (z_1^2 - z_3^2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix}$$

Решение этой системы можно получить в виде

$$\alpha = \frac{\begin{vmatrix} A & y_1^2 - y_2^2 - B_1 \\ B & y_1^2 - y_3^2 - B_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1^2 - x_2^2 - A_1 & y_1^2 - y_2^2 - B_1 \\ x_1^2 - x_3^2 - A_2 & y_1^2 - y_3^2 - B_2 \end{vmatrix}} \quad \beta = \frac{\begin{vmatrix} x_1^2 - x_2^2 - A_1 & A \\ x_1^2 - x_3^2 - A_2 & B \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1^2 - x_2^2 - A_1 & y_1^2 - y_2^2 - B_1 \\ x_1^2 - x_3^2 - A_2 & y_1^2 - y_3^2 - B_2 \end{vmatrix}}$$

## 5. Описание программы

Алгоритм калибровки реализован в виде библиотеке на языке C++. Библиотека содержит класс — вычислитель коэффициентов преобразования. Конструктор класса принимает в качестве аргументов массив из 12 чисел с плавающей запятой, соответствующих четырем измерениям. С помощью четырех троек чисел создаются объекты вспомогательного класса point, использующегося в дальнейших вычислениях. После этого конструктор вызывает метод для вычисления коэффициентов.

Вызванный конструктором метод выполняет операции, описанные в параграфе 4 данной работы, решая систему из четырех уравнений.

Так как программа предназначена для использования в микроконтроллерах, в ней нежелательно использование сторонних библиотек, а также средств STL. Поэтому функции вычисления определителей матриц были реализованы частным образом, для матриц размера 3x3 и 2x2. Функции принимают массивы чисел с плавающей запятой содержащие соответственно 9 и 4 элементов.

Результаты сохраняются в виде публичных членов класса. Соответствующие переменные принимают вычисленные значения после завершения работы конструктора класса. Хотя данные открыты для чтения и модификации, их не следует менять.

Кроме этого, в классе — вычислителе присутствует несколько private методов, выполняющих служебную функцию и существующих для уменьшения количества кода в конструкторе.

## 6. Результаты эксперимента

После получения массива точек с помощью магнитометра НМС5883L из них были выбраны четыре точки, хорошо подходящие для алгоритма (метод поиска подходящих точек не входит в эту работу).

Таблица 1. Используемые для калибровки точки

Оси	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4
x	4323,69	18198,52	239,56	-7892,87
y	370,17	1594,29	16521,97	-5799,77
z	21490,27	-460,00	-464,29	-8697,25

Эти точки (приведенные в таблице 1) были использованы для запуска алгоритма вычисления коэффициентов преобразования. Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Полученные в результате калибровки коэффициенты

$x_0$	0,00054
$y_0$	-0,00033
$z_0$	-0,00386
$\alpha$	0.594027
$\beta$	0,488086

## **7. Выводы**

Рассчитанные коэффициенты усиления по осям  $x$  и  $y$  значительно отличаются от единицы, следовательно, начальные данные действительно лежали не на сфере, а на эллипсе. Тем не менее, рассчитанные коэффициенты смещения пренебрежимо малы. Из этого можно сделать вывод, что каждый из датчиков трехосного магнитометра HMC5883L имеет правильно установленные и соответствующие друг другу нули, в результате чего эллипс лежит в начале координат.

Таким образом, несмотря на установленный ноль, для использования трехосного магнитометра HMC5883L действительно необходима калибровка.

## **8. Список литературы**

1. Кучис Е.В. Методы исследования эффекта Холла. – М.: Сов. Радио, 1974. – 328 с.
2. 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L Datasheet
3. Курош В. Г. Курс высшей алгебры. – М.: Издательство «Наука», главная редакция физико-математической литературы, 1968 г.